

법전-소천 간 국도건설공사 붕괴절토사면 안정성 해석 및 대책안 제시

김승현^{1)*} · 구호본²⁾ · 이정엽³⁾ · 이종현⁴⁾

1. 서 론

설계 단계에서 절토사면의 절취 경사도는 설계 기준에 의해 시추 조사, 대상 암석의 압축강도 등 암석의 강도별 특성에 의해 결정된다. 설계 단계의 시추조사는 시공될 전체 절토사면에 대한 정보라기보다 특정 5 cm 지점의 지반정보에 불과한 자료이다. 암반사면의 경우 사면을 구성하는 암석의 강도도 중요하지만 암반에 발달하는 절리, 단층, 습곡 등 불연속면의 특성이 절토사면 안정성에 미치는 영향을 고려하지 않을 수 없다.

본 연구 대상은 국도 36호선 경상북도 영주와 울진을 잇는 “법전-소천 간 국도건설공사” 구간 내 위치한 절토사면이다. 법전-소천 간 국도 36호선은 경상북도 북부 지방의 동서를 잇는 대표적인 노선으로, 부석사, 청량산도립공원, 불영계곡 군립공원 등 주변 관광지로 진입하는 근간이 되는 도로로 특히 관광철 차량 이용량이 많다. 그러나, 기존 노선은 도로폭이 10 m 이내의 폭이 좁고 도로선형이 매우 불량하여 교통사고 발생율이 높은 편이다. 따라서 교통 소통을 보다 원활히 하고, 안전사고를 미연에 방지하며, 물류비용을 절감할 목적으로 기존도로의 선형을 개선하고, 왕복 4차선으로 확장하는 공사가 시작되었다.

연구대상 절토사면은 법전-소천 간 국도건설공사 구간 내 Sta. 2+060~2+260 구간에 존재하는 대형 혼합사면으로, 행정구역상 “봉화군 법전면 소천리”에 속하며, 위경도 좌표는 북위 36°54′49″/동경 128°56′09″이다. 본 연구는 위험성이 내재된 열악한 지반조건의 사면을 대상으로 상세현장조사를 실시하고, 안정 해석을 수행함으로써 현장특성과 시공성, 경제성과 친환경성 등 기타 제반 사항을 모두 고려한 적절한 보강대책(안)을 제시하여 절토사면 영구 구조물의 축조에 기여하는데 목적이 있다.

2. 절토사면 현황

2.1 지형 및 지질

조사대상 절토사면을 중심으로 북부와 남부 지형은 비교적 험준하며, 절토사면이 위치한 지점은 상대적으로 지형이 낮다. 조사대상 절토사면 북쪽에는 문수산(1,206 m), 각화산(1,176 m), 왕두산(1,044 m) 등 높은 봉우리의 산지가 존재하며, 동쪽은 제비산(706 m), 죽미산(907 m), 남쪽은 청량산(870 m)으로 상대적으로 낮은 봉우리가 위치한다. 즉, 조사대상 절토사면이 위치한 지점은 이들 중대규모의 산지에 둘러싸인 분지 지형이라고 할 수 있다.

절토사면을 구성하는 주요 기반암은 춘양화강암(영주화강암)으로, 복운모화강암 혹은 모화강암이 모두 산출된다. 화강암 지반 표면은 화학적·물리적 풍화의 영향으로 화강풍화토(마사토)가 0.5~3.0 m 두께로

주요어 : 절토사면, 현장조사, 사면안정성 해석, 대책공법

- 1) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (sshkim@kict.re.kr)
- 2) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (hbkoo@kict.re.kr)
- 3) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (yeupi@kict.re.kr)
- 4) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 (jhrhee@kict.re.kr)

피복되어 있어 지속적으로 표층이 유실되는 형태이다. 절토사면에서 발견되는 주요 단층군의 대표 방향은 각각 N40°W 방향과 N50°E 방향으로 이 지역의 기존연구 결과와 유사한 방향성을 가진다(손치무, 김수진(1963), 진명식·장보안(1999), 강지훈·김형식(2000), 정해식·장보안(2004)) 단층면 상에는 단층조선과 단층점토, 결정섬유, 빗살구조 등이 발견되며, 단층조선의 발달 방향은 대부분 수평이동감각이며, 불연속면 내로 유입되는 유수의 화학적 풍화의 결과로 갈색 또는 황갈색의 침전물이 부착되어 있기도 하다. Sta.2+140~260 구간에서는 화강암류 이외에 안산암류의 염기성암맥이 발견되며, 염기성암맥의 관입방향은 N50°E/80°NW이고, 최대 폭은 약 20 m 에 달한다. 염기성암맥과 화강암과의 경계부에서는 복운모화강암이 우세하게 노출되고 있으며, 염기성암맥 경계면과 동일한 방향의 규칙절리가 0.5~1.0 m 간격으로 반복 노출된다.

2.2 현장조사

조사대상 절토사면을 대상으로 각 절토사면의 특성을 파악하기 위하여 현황도(face map)를 작성하였으며, 아울러 절토사면 상에 발달하는 불연속면 발달 방향 및 특성, 약대, 지하수 누수 부분, 침식·세굴 발생 구간 등 대상 사면의 지반공학적 특성을 파악할 수 있는 제반 사항을 모두 기재하였다.

조사대상 절토사면은 총연장 200 m, 최대높이 47 m의 암반과 토층으로 구성된 혼합사면이며, 7 개의 소단이 설치되어 있다(사면방향 : 45/050, dip/dip direction). 각 소단의 높이별 간격은 대략 5 m 이며, 소단의 폭은 평균 1.0 m 이고, 최대로 넓은 곳은 제2소단으로 최대 폭은 약 6 m 에 달한다. 현장조사 당시 노면까지 절취가 이루어지지 않은 상태이므로 추가적으로 소단이 더 조성될 예정이었다.

연구대상 사면은 전반적인 경사도(1:1.0)는 비교적 완만하지만 사거리가 매우 긴(약 120 m) 대규모 사면에 해당된다. 절토사면 좌측부(절토사면을 바라보면서)는 절취 전 자연 상태의 계곡부에 해당하는 것으로 장기간의 지표수 유입, 풍화작용 등에 의해 풍화심도가 매우 깊고(10 m 내외), 완전풍화(completely weathered)된 마사토의 피복에 의해 지표수에 의한 침식작용으로 비교적 깊은 물길 흔적이 발달되어 있다. 우측부는 상대적으로 단층파쇄대가 조밀하게 발달되어 있고, 단층 내 단층조선, 단층점토, 결정섬유 등이 관찰되며 이완된 절리의 틈이 최대 100 mm에 달하는 것도 관찰되는 등 단층파쇄대에 의한 부분적 붕괴 가능성이 내재되어 있지만, 절토사면 하단부에 매우 견고한 암반이 형성되어 있어 상단부의 사면을 충분히 지지함으로 대규모 붕괴 가능성은 미미한 상황이었다.

비교적 토층두께가 두꺼워 위험성이 높다고 판단한 좌측부의 경우, 제1소단과 제2소단을 형성하기 위하여 추가 절취를 실시하던 중 2006년 8월 대규모 원호파괴가 발생되었다. 붕괴형태는 하부 지지력 상실로 상부 지반이 연쇄적으로 탈락하는 퇴행성붕괴(retrogressive failure)형태로 상단부 붕괴두부의 폭은 약 8 m이며, 하단부 최대폭은 25 m로 하단부로 갈수록 넓어지는 형태를 띤다. 붕괴부 두부에서 관찰되는 최대 붕괴심도는 우측의 최대변위가 0.9 m 인 반면, 좌측의 최대변위는 1.1 m로 좌측이 우측에 비하여 20 cm 정도 보다 함몰된 상태였다. 붕괴부 노출 지반은 조사 당일이 건기임에도 불구하고 젖어 있는 상태였으며, 지하수가 지속적으로 계속 누수되고 있음이 확인되었다.

붕괴발생부 우측에서는 기존 현장조사에서 토층의 피복으로 정확한 관찰이 불가능했던 단층파쇄대가 노출되었다. 단층파쇄대의 단층발달 방향은 52/020 로 평면파괴를 유발할 수 있는 상태였으며 단층면 상에는 단층점토가 약 1 cm 두께로 충전되어 있어 미끄럼면을 형성하고 있었다.

2.3 사면안정해석

조사대상 절토사면의 불연속면의 노출 상태와 풍화조건을 고려하여 제3소단과 제4소단 사이 법면(Site

#1)과 제2소단 하부 돌출암괴부(Site #2)를 구분하여 안정성 해석을 실시하였다. 사용된 지반강도정수 값은 RMR, 실험식, 기존문헌 등을 참조하여 산출하였으며, Site #1의 경우, $c=10$ (t/m^2), $\phi=28^\circ$ 이며, Site #2는 $c=20$ (t/m^2), $\phi=31^\circ$ 였다. 또한 마사토는 $c=0.3$ (t/m^2), $\phi=22^\circ$ 를 사용하였다.

사면의 경사도를 달리 하면서 DIPS, SWEDGE 등을 이용하여 불연속면 발달 상태에 관한 안정성 해석결과를 실시한 결과, Site #1의 경우, 1:1.0 경사도일 경우, 썩기파괴 발생가능성이 인지되었고, 1:1.0 경사도 및 1:1.2 경사도에서 평면파괴 가능성이 인지되었다. 또한 Site #2의 경우, 1:0.5 경사도와 1:0.7 경사도일 때 썩기파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

사면을 피복하고 있는 토사층의 안정성을 검토하기 위하여 TALREN 97을 이용하여 혼합사면 구간에 대한 한계평형해석을 실시한 결과, 산출된 안전율 값이 설계기준안전율에 미달되어 안전율을 확보할 수 있는 대책공법이 요구되는 것으로 나타났다.

2.4 대책공법

대상 절토사면의 불연속면의 발달 양상은 매우 복잡하며, 다양한 추가 붕괴를 유발할 수 있는 상황이지만, 불연속면으로 규제되는 암괴의 크기가 비교적 소규모로 대규모 붕괴를 유발할 가능성은 낮다.

그러나, 발파암이 주로 노출되는 제2소단 하단부의 적정 경사도가 확보되지 못할 경우, 2006년 9월 발생된 원호파괴와 같은 붕괴양상이 지속적으로 발생될 수 있다. 따라서 적절한 경사도로 절취를 하여 안전율을 확보할 필요가 있다.

절취를 실시하더라도 단층파쇄대를 포함한 불연속면의 발달양상이 노출될 가능성이 높으므로, 추가적인 현장조사를 통하여 구간별 위험성을 재검토하여 추가적인 보강공법을 선정하는 것을 함께 고려하여야 할 것이다.

3. 결 론

도로절토사면 관련 설계단계에서는 시추조사 등 한정된 조사에 의해 지반상태를 예측하고 사면 설계를 하기 때문에 항구적인 절토사면 시공의 한계성을 가진다. 절토사면 시공 단계별로 노출된 사면의 지반상태를 면밀히 파악함으로써 정확한 지반 정보에 의해 조사, 안정성 해석을 수행하게 되면 보다 정확한 사면의 거동 예측이 가능하고 사면의 항구대책을 수립할 수 있다.

법진-소천 간 도로확장공사 중 조성된 절토사면은 설계단계를 거쳐 시공 중 현장조사, 안정성 해석, 대책(안) 등을 수립함으로써 열악한 지반조건을 가지는 한계성을 극복한 항구대책방안이 수립될 수 있었다.